



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 100 37 771 A 1**

⑤① Int. Cl.7:
G 01 C 11/04

②① Aktenzeichen: 100 37 771.8
②② Anmeldetag: 3. 8. 2000
④③ Offenlegungstag: 21. 2. 2002

DE 100 37 771 A 1

①③ Anmelder:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

①④ Vertreter:
Gagel, R., Dipl.-Phys.Univ. Dr.rer.nat., Pat.-Anw.,
81241 München

⑦② Erfinder:
Stallkamp, Jan, Dipl.-Ing., 70569 Stuttgart, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren und Vorrichtung zur Messung der Entfernung eines Objektes

⑤⑦ Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Messung der Entfernung eines Objektes, bei denen zumindest zwei getrennte Lichtbündel von zwei Ausgangspunkten, die in einem Bezugssystem einen vorgegebenen Abstand zueinander aufweisen, auf das Objekt gerichtet und auf dem Objekt in einem Messpunkt zur Überdeckung gebracht werden. Durch Erfassung der Lage der beiden Lichtbündel im Bezugssystem wird unter Zugrundelegung des Abstandes der Ausgangspunkte der Abstand zum Messpunkt ermittelt. Für die dreidimensionale Vermessung eines Raumes wird der Raum mit den Lichtbündeln abgetastet und die jeweilige Überlagerung mit Hilfe einer Kamera mit zugehöriger Bildverarbeitung gesteuert.

Die vorliegende Erfindung ermöglicht die präzise Entfernungsmessung über kleine bis mittlere Abstände und lässt sich mit vergleichsweise geringen Bauraumanforderungen realisieren. Sie ist daher insbesondere für Anwendungen in der medizinischen oder technischen Endoskopie geeignet.

DE 100 37 771 A 1

BEST AVAILABLE COPY

Technisches Anwendungsgebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Messung der Entfernung eines Objektes, bei denen das Prinzip der Triangulation zur Bestimmung der Entfernung eingesetzt wird.

[0002] Die Messung der Entfernung zu einem Objekt sowie die dreidimensionale Vermessung von Räumen oder Objekten ist in vielen Bereichen der Technik erforderlich. Dies betrifft sowohl allgemeine geometrische Vermessungsaufgaben als auch spezielle Anwendungen wie die Vermessung von 3D-Objekten für die Modellerstellung, beispielsweise im Bereich der Virtual Reality, des Rapid Prototyping usw.

[0003] Die vorliegende Erfindung betrifft dabei insbesondere Anwendungsgebiete, auf denen eine räumliche oder punktuelle Entfernungsmessung über kleine bis mittlere Abstände mit hoher Präzision erfolgen muss. Beispiele hierfür sind die technische oder die medizinische Endoskopie für die Bestimmung der räumlichen Umgebung in Vorschubrichtung des Endoskops. Weiterhin sind derart präzise Entfernungsmessungen für die Kontrolle von Werkzeugen bei automatisierten Arbeitsprozessen erforderlich oder zumindest wünschenswert.

[0004] Ein bevorzugtes Anwendungsgebiet der vorliegenden Erfindung stellt die Endoskopie dar, wie dies nachfolgend anhand der Problematik bei der medizinischen Endoskopie veranschaulicht wird.

[0005] Eine wesentliche Erweiterung der therapeutischen und diagnostischen Möglichkeiten in der Chirurgie wurde durch die technische Realisierung der Methoden der minimalinvasiven Chirurgie (MMI) unter Einsatz eines Endoskops erreicht. Der zusätzliche Einsatz von Robotern oder Manipulatoren als Trägersystem ermöglicht eine präzise und kontrollierte Führung des Endoskops. Bei derartigen robotergestützten, minimalinvasiven Eingriffen müssen die Dimensionen der räumlichen Umgebung vor dem Endoskop allerdings exakt bekannt sein, um eine sichere Führung des Instruments zu ermöglichen.

Stand der Technik

[0006] Gegenwärtig werden für die Vermessung des Situs in der minimalinvasiven Chirurgie neben dem Videobild, das durch das Endoskop geliefert wird, in der Regel Magnetresonananz(MR)-, Computertomographie(CT)- oder Ultraschallverfahren(US) angewendet. Mit Magnetresonananz- und Computertomographie erzeugte 3D-Datensätze werden dabei in der Regel präoperativ erstellt, so dass sie nach der ersten invasiven Maßnahme ihre Aktualität verlieren. Die genannten Verfahren ermöglichen außerdem nur eine sehr ungenaue Vermessung des Situs. Im Vergleich zu diesen Systemen bietet das Videobild des Endoskops einen vergleichsweise hohen Informationsgehalt und kann ständig aktualisiert werden. Mit Stereoendoskopen kann das Volumen vor dem Messkopf auch dreidimensional erfasst werden. In diesem Fall nimmt jedoch die Baugröße des Endoskops zu und eine explizite Beschreibung des Raums vor dem Endoskopkopf ist wegen fehlender Landmarken nicht immer möglich. Weiterhin verzerren die konventionellen Endoskopoptiken wegen der erforderlichen großen Öffnungswinkel von ca. 70° sehr stark, so dass eine genaue geometrische Vermessung des Volumens vor dem Endoskop erschwert wird.

[0007] Gerade für die Anwendung in der medizinischen Endoskopie ist daher ein kompaktes Entfernungsmesssystem erforderlich, das eine berührungslose und präzise Mes-

sung der Umgebung vor dem Endoskop während des gesamten Operationsvorgangs ermöglicht.

[0008] Aus dem Stand der Technik sind unterschiedliche Techniken zur Entfernungsmessung bekannt. So werden häufig Laserscanner unterschiedlicher Bauarten für präzise, schnelle und berührungslose Messungen eingesetzt.

[0009] Eines der beiden bekannten Prinzipien basiert auf der Laufzeitmessung eines Laserpulses zwischen einem Bezugspunkt und dem Objekt zur Bestimmung der Entfernung. Derartige Systeme bestehen aus einer gepulsten Laserlichtquelle und einem synchronisierten Empfänger. Der ausgesandte Laserimpuls wird am Objekt reflektiert und durch den Empfänger anschließend detektiert. Aus der Zeitdifferenz zwischen dem Aussenden des Impulses und dem Eintreffen im Empfänger lässt sich der Abstand des Objektes zum Bezugspunkt ermitteln. Dieses Prinzip ist jedoch lediglich bei größeren Entfernungen anwendbar, da bei kurzen Distanzen die Laufzeit des Laserpulses nicht mehr mit ausreichender Genauigkeit erfasst werden kann.

[0010] Weitere bekannte Systeme zur Entfernungsmessung, wie sie beispielsweise aus der EP 0181553 bekannt sind, nutzen das Prinzip der Triangulation zur Bestimmung der Entfernung. Bei diesen Systemen sind ein Laser sowie ein Empfänger in einem bekannten Abstand zueinander angeordnet. Der Laserstrahl wird an einem Messpunkt am Objekt reflektiert und trifft auf den Empfänger auf. Aus der Lage des ausgesendeten Laserstrahls in einem Bezugssystem und der Position des Auftreffpunktes des reflektierten Laserstrahls auf dem Empfänger lässt sich die Entfernung des Messpunktes ermitteln. Auf diese Weise kann durch eine geeignete Scan- bzw. Abtastbewegung des Laserstrahls auch ein größerer Bereich oder die gesamte Oberfläche des Objektes vermessen werden, um auf diese Weise eine Information über die räumlichen Dimensionen zu erhalten.

[0011] Die Genauigkeit eines derartigen Systems ist jedoch von der Ortsauflösung des Empfängers, in der Regel eines CCD-Sensors, abhängig. Da die Ortsauflösung eines CCD-Sensors begrenzt ist, ist es bei diesen Systemen zur Erhöhung der Messgenauigkeit erforderlich, den Abstand zwischen Sender und Empfänger entsprechend zu erhöhen. Bei den bisher technisch realisierbaren Auflösungen von CCD-Sensoren muss in der Regel ein Abstand zwischen Sender und Empfänger gewählt werden, der in etwa dem Mindestabstand des zu vermessenden Objektes entspricht. Dies führt jedoch zu einer Erhöhung des Bauraums für die zugehörige Vorrichtung, so dass diese aufgrund ihrer Abmessungen für viele Anwendungen nicht mehr geeignet ist. Weiterhin treten bei derartigen, auf Reflexion am Objekt beruhenden Verfahren Probleme bei stark variierenden Reflexionseigenschaften der zu vermessenden Objekte auf.

[0012] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Messung der Entfernung eines Objektes anzugeben, die bei kleinen und mittleren Abständen eine hohe Präzision liefern und mit vergleichsweise geringem Raumbedarf realisiert werden können.

Darstellung der Erfindung

[0013] Die Aufgabe wird mit dem Verfahren sowie der Vorrichtung gemäß den Patentansprüchen 1 bzw. 7 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens sowie der zugehörigen Vorrichtung sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0014] Beim vorliegenden Verfahren werden zumindest zwei getrennte Lichtbündel von zwei Ausgangspunkten, die in einem Bezugssystem einen vorgegebenen Abstand zueinander aufweisen, auf das Objekt gerichtet. Unter Objekt ist

hierbei selbstverständlich auch eine Begrenzungsfläche eines Raums zu verstehen. Die beiden Lichtbündel werden anschließend auf dem Objekt in einem Messpunkt zur Überdeckung gebracht. Bei Überdeckung der beiden durch die Lichtbündel erzeugten Lichtflecke auf dem Objekt wird die Lage der beiden Lichtbündel im Bezugssystem erfasst. Dies kann auf einfache Weise über die Stellung entsprechender die Lichtbündel führender Strahlumlenkelemente oder durch die Stellung der Antriebe für derartige Strahlumlenkelemente erfolgen. Aus der erfassten Lage der Lichtbündel und dem Abstand der beiden Ausgangspunkte zum Zeitpunkt der Überdeckung, der vorzugsweise während der gesamten Messung konstant ist, wird die Entfernung des Messpunktes auf dem Objekt zu einem Bezugspunkt des Bezugssystems ermittelt. Dies kann durch Berechnung entsprechend der bekannten Triangulationstechnik oder auch durch Vergleich mit bereits für die eingesetzte Vorrichtung vorberechneten Tabellenwerten erfolgen.

[0015] Durch das vorgeschlagene Verfahren wird die Genauigkeit der Entfernungsmessung unabhängig von der Ortsauflösung von optischen Detektoren und ist nur durch die Verstellgenauigkeit der mechanischen Komponenten für die Führung der Lichtbündel beschränkt. Auf diese Weise lässt sich eine hohe Präzision der Messung erreichen. Unterschiedliche Oberflächen mit schlechten Reflexionseigenschaften beeinflussen die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Messung nicht.

[0016] In einer bevorzugten Ausführungsform des vorliegenden Verfahrens wird ein Bilderfassungssystem, beispielsweise eine Videokamera, zur Steuerung des Messvorganges eingesetzt. Die Kamera liefert ein Bild des zu erfassenden Raumbereiches mit dem Objekt einschließlich der durch die beiden Lichtbündel auf dem Objekt erzeugten Lichtflecke. Durch eine geeignete Bildverarbeitung lässt sich die Information über die momentane Position dieser Lichtflecke zur Ansteuerung der Strahlführungseinrichtungen für die Lichtbündel einsetzen, um diese im gewünschten Messpunkt zur Überlagerung zu bringen. Die Strahlführungseinrichtungen besitzen eine definierte Lage zueinander, insbesondere einen vorzugsweise festen bekannten Abstand. Die durch die Lichtbündel in dem Sichtfeld der Kamera erzeugten Lichtflecke werden mit Hilfe des Bildverarbeitungsprogramms segmentiert. Für die Vermessung eines Messpunktes auf dem Objekt werden die Lichtpunkte mit Hilfe der Strahlführung unter Kontrolle der Bildverarbeitung in Überdeckung gebracht. Mit einer bekannten Ausrichtung der Strahlführung und den konstruktiven Abmessungen des Aufbaus kann, da die Grundseite und zwei angrenzende Winkel des durch die Lichtbündel aufgespannten Dreiecks bekannt sind, die Lage des Messpunktes relativ zur Strahlführung eindeutig bestimmt werden.

[0017] Die Messgenauigkeit hängt dabei hauptsächlich von der Verstellgenauigkeit der Strahlführung ab und ist weitgehend unabhängig von den optischen Eigenschaften der Lichtbündel sowie der räumlichen Auflösung des eingesetzten Bilderfassungssystems.

[0018] Für das Erreichen einer hohen Messgenauigkeit ist daher lediglich der Einsatz präziser Verstelleinrichtungen für die Strahlführung erforderlich, ohne dabei den Abstand der beiden Strahlführungseinrichtungen erhöhen zu müssen.

[0019] Grundsätzlich sind die Lichtbündel und die Kamera zu einem Bezugssystem, auf das die Entfernungsmessung und die Lage des vermessenen Punktes bezogen wird, positioniert. Die jeweiligen Matrizen für die mathematische Beschreibung der Lage der Lichtbündel und der Kamera zum Bezugssystem können variabel sein, solange diese Veränderungen bekannt sind. Das Schwenken der Lichtbündel muss daher nicht notwendigerweise um feste Achsen erfol-

gen, sondern ist unter der genannten Voraussetzung beliebig.

[0020] Vorzugsweise wird das vorliegende Verfahren nicht zur Bestimmung des Abstandes eines einzelnen Messpunktes des Objektes eingesetzt, sondern zur Erfassung der Dimensionen eines Raumes, in dem sich das Objekt befindet bzw. der durch das Objekt begrenzt ist. Hierbei wird eine Vielzahl von Messpunkten in der beschriebenen Weise vermessen. Dies erfolgt durch Abtasten bzw. Scannen des Raumes bzw. Raumbereiches mit dem ersten Lichtbündel und entsprechende Nachführung des zweiten Lichtbündels zur Erfassung einer Vielzahl von Überlagerungspunkten bzw. Messpunkten auf der Objektoberfläche. Durch Erfassung der jeweiligen Lage der beiden Lichtbündel im Bezugssystem ist die für die Erstellung eines dreidimensionalen Entfernungsprofils erforderliche Raumrichtung jedes Messpunktes bekannt.

[0021] Das vorliegende Verfahren ermöglicht sehr kleine Bauformen, ohne auf die Eigenschaften eines Scanners, d. h. das punktweise Abtasten eines Volumens, verzichten zu müssen. Es können alle Punkte im Raum vor dem Scanner präzise vermessen werden, die durch die im Scanner eingesetzten Strahlführungseinrichtungen erreicht werden können. Das vorliegende Verfahren ermöglicht die Reduzierung der Auswirkungen von optischen Störungen bei der Ausbreitung des Lichtes, beispielsweise durch stark absorbierende Oberflächen, auf das Messergebnis und stellt somit ein sehr robustes Messverfahren dar.

[0022] Die Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens weist ein Bilderfassungssystem zur Bilderfassung eines zu vermessenden Raumes bzw. Raumbereiches sowie zumindest zwei in festem Abstand zueinander angeordnete Strahlführungseinrichtungen auf, die zur Ausführung einer Scanbewegung ausgestaltet sind. Die Strahlführungseinrichtungen müssen hierbei derart angeordnet sein, dass sie bei Ausführung der Scanbewegung die Überlagerung zweier über sie geführte Lichtbündel in einem Messpunkt auf dem zu vermessenden Bereich des Objektes herbeiführen können. Vorzugsweise handelt es sich dabei um bekannte Scanner-einrichtungen, beispielsweise mit drehbar oder kippbar angeordneten Scanspiegeln. Die Vorrichtung umfasst weiterhin eine Einrichtung zur Erfassung der Stellung der Strahlführungseinrichtungen sowie eine Steuereinrichtung, die die beiden Strahlführungseinrichtungen durch Auswertung des vom Bilderfassungssystem erfassten Bildes zur Überlagerung der Lichtbündel im jeweiligen Messpunkt ansteuert.

[0023] Die ein oder mehreren erforderlichen Lichtquellen für die Erzeugung der Lichtbündel, vorzugsweise Laser, können hierbei getrennt von der Vorrichtung vorgesehen sein, wobei deren Strahlen auf die Strahlführungseinrichtungen eingekoppelt werden.

[0024] In einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Vorrichtung sind die beiden Strahlführungseinrichtungen auf einem gemeinsamen Träger angeordnet und lassen sich zur Durchführung der Scanbewegung nur um eine einzige Achse drehen, schwenken oder kippen. Die Anordnung ist hierbei derart ausgebildet, dass die beiden Lichtbündel durch die Scanbewegungen der beiden Strahlführungseinrichtungen in einer gemeinsamen Scanebene geführt werden, so dass sie bei konstanter Position des Trägers die identische Scanlinie abtasten. Die Abtastung eines flächenhaften Bereiches erfolgt jeweils durch Drehung oder Verschiebung des gemeinsamen Trägers um eine bzw. entlang einer Achse. Bei Drehung des gemeinsamen Trägers liegen die einzelnen Scanlinien zur flächenhaften Abtastung des Objektes daher jeweils unter einem spitzen Winkel zueinander.

[0025] Diese Ausgestaltung hat den besonderen Vorteil,

dass die einzelnen Komponenten der Vorrichtung jeweils nur um eine Achse beweglich sein müssen, so dass sich die gesamte Konstruktion vereinfacht und die Robustheit des Systems erhöht wird. Insbesondere kann der erforderliche Bauraum für die Komponenten auf diese Weise minimiert werden.

[0026] Selbstverständlich können die Strahlführungseinrichtungen bei größeren Bauformen der Vorrichtung jedoch auch um mehrere Achsen schwenkbar ausgebildet sein.

[0027] Bei einer besonderen Ausführungsform der vorliegenden Vorrichtung werden die Strahlführungseinrichtungen sowie das Bilderfassungssystem am Messkopf eines Endoskops angeordnet. Die Zuführung der Lichtbündel zu den Strahlführungseinrichtungen kann beispielsweise über Lichtleitfasern am Endoskop erfolgen. Die Verstellung der Strahlführungseinrichtungen erfolgt über entsprechende Kupplungen, die bis an den Fuß des Endoskops geführt werden, so dass die entsprechenden Verstellvorrichtungen nicht am Messkopf vorgesehen werden müssen. Ein Beispiel für eine derartige Realisierung ist den nachfolgenden Ausführungsbeispielen zu entnehmen. Selbstverständlich eignen sich das vorliegende Verfahren sowie die zugehörige Vorrichtung nicht nur für die medizinische oder technische Endoskopie. Es gibt vielmehr eine Vielzahl von Anwendungen, bei denen die Entfernung zu einem Objekt auf kleine bis mittlere Abstände, beispielsweise von 2 cm bis zu mehreren Metern, mit hoher Präzision erfasst werden muss. Insbesondere eignet sich das vorliegende System für die dreidimensionale Entfernungsmessung von Objekten bzw. Raumvermessung, beispielsweise zum Einsatz in der Werkzeug- oder Robotertechnik.

Wege zur Ausführung der Erfindung

[0028] Das vorliegende Verfahren sowie die zugehörige Vorrichtung werden nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Zeichnungen ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens nochmals beispielhaft erläutert. Hierbei zeigen:

[0029] Fig. 1 eine Prinzipskizze zur Veranschaulichung einer Ausführungsform des vorliegenden Verfahrens;

[0030] Fig. 2 eine Prinzipskizze zur Veranschaulichung der Scanbewegungen der Lichtbündel gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0031] Fig. 3 eine Prinzipskizze eines Endoskops, an dem die vorliegende Vorrichtung eingesetzt wird;

[0032] Fig. 4 die Kopfseite des Endoskops der Fig. 3 ohne Abdeckhülse; und

[0033] Fig. 5 eine Prinzipskizze der konstruktiven Lösung zur Realisierung der vorliegenden Vorrichtung in einem Endoskop.

Wege zur Ausführung der Erfindung

[0034] Fig. 1 zeigt eine Prinzipskizze der Funktionsweise des vorliegenden Verfahrens anhand eines Ausführungsbeispiels, bei dem eine Kamera 7 zur Kontrolle der Überlagerung der Lichtbündel im Messpunkt eingesetzt wird. Die Figur zeigt die Oberflächenkontur 1 eines Objektes 2, dessen Abstand zur Kamera gemessen werden soll. Hierbei sind zwei Strahlführungseinrichtungen 3a und 3b in einem definierten gegenseitigen Abstand neben der Kamera angeordnet. Die beiden Strahlführungseinrichtungen führen jeweils ein Lichtbündel 4a bzw. 4b und richten dieses auf die Kontur 1, auf der die Lichtbündel jeweils einen Lichtpunkt 5a bzw. 5b erzeugen. In der Figur ist weiterhin ein Messpunkt 6 auf der Kontur 1 angedeutet, dessen Abstand zu einem Bezugspunkt auf der Seite der Kamera 7 gemessen werden soll.

Durch die zwischen den beiden Strahlführungseinrichtungen 3a und 3b angeordnete Kamera 7 wird der zu vermessende Oberflächenbereich des Objektes 2 erfasst. Ein Beispiel für einen erfassten Bildausschnitt 8, auf dem die Lichtpunkte 5a und 5b sowie der Messpunkt 6 zu erkennen sind, ist in der Figur ebenfalls dargestellt. Die beiden Strahlführungseinrichtungen 3a, 3b sind als Scannersysteme ausgebildet. Im oberen Bereich der Fig. 1(A) sind die Lichtpunkte 5a, 5b des hier eingesetzten Laserstrahls auf dem Objekt 2 noch nicht überlagert. Durch Schwenken der beiden Strahlführungen 3a, 3b können die beiden Lichtpunkte 5a, 5b mit dem Messpunkt 6 in Übereinstimmung gebracht werden. Die Steuerung der Strahlführung erfolgt hierbei über eine Bildverarbeitung des von der Kamera erfassten Bildes 8. Die Lichtpunkte werden hierbei solange verschoben, bis sie im Kamerabild in Überdeckung kommen. Auf diese Weise kann beinahe jeder Punkt des Objektes vor dem Scanner im Sichtfeld der Kamera vermessen werden. Die Vermessung erfolgt unabhängig von den Abbildungseigenschaften der Kamera 7 und ist lediglich von der Stellgenauigkeit der Strahlführungseinrichtungen 3a und 3b abhängig.

[0035] Die durch eine Drehung der beiden Strahlführungseinrichtungen erreichte Überlagerung der beiden Lichtbündel 4a, 4b im Messpunkt 6 sowie das entsprechende von der Kamera 7 erfasste Bild 8 sind im unteren Teil (B) der Fig. 1 dargestellt.

[0036] Die Art der für die Strahlführungseinrichtungen 3a, 3b eingesetzten Scanmechanismen spielt bei der Durchführung des vorliegenden Verfahrens keine Rolle. Es kann sich hierbei beispielsweise um Kipp- oder Drehspiegelanordnungen handeln. Auch eine direkte Erzeugung der Laserstrahlen am Ort der Strahlführungseinrichtungen durch Laserdioden ist nicht ausgeschlossen.

[0037] Die eingesetzte Kamera kann beliebig ausgestaltet sein, solange die Position der beiden Lichtflecke im Sichtfeld erkannt werden kann. Beispielsweise könnte es sich hierbei auch um eine Wärmebildkamera handeln, falls im Infraroten emittierende Laser zur Erzeugung der Lichtbündel eingesetzt werden. Vorzugsweise ein CCD-Sensor als Bilderfassungssystem in der Kamera eingesetzt. Weiterhin lässt sich selbstverständlich jede Art von Filterung durchführen, um beispielsweise die Erkennung der beiden Lichtflecke zu erhöhen.

[0038] Die folgenden Figuren zeigen ein konkretes Ausführungsbeispiel der vorliegenden Vorrichtung für den Einsatz an einem Endoskop. Die hierbei realisierten konstruktiven Maßnahmen lassen sich jedoch ohne weiteres auch auf andere Anwendungen mit endoskopähnlichen Geräten übertragen.

[0039] Bei diesem Ausführungsbeispiel wurde die für die Endoskopie obligatorische Videobildquelle in das Grundkonzept der Konstruktion mit einbezogen. Auf der zentralen Achse des Endoskops ist der Optikzylinder 16 angeordnet, der aus einem Stabliniensystem bzw. aus einer Faseroptik bestehen kann. Am Ende des Optikzylinders ist die Videokamera 7 angebracht, mit der das Sichtfeld vor dem Endoskop aufgenommen wird. Die Videoaufnahmen dienen zur Steuerung für das Überlagern der Lichtflecke auf dem Objekt bzw. dem dem Endoskop gegenüberliegenden Gewebe.

[0040] Die beispielhafte Konstruktion des Endoskops ist in Fig. 3 dargestellt. Diese Figur zeigt ein Endoskop mit einem Kopfbereich 9 und einem Fußbereich 10. Der Kopfbereich ist mit der in dieser Figur nicht zu erkennenden Videokamera 7 und den Strahlführungseinrichtungen versehen und mit einer transparenten Abdeckung 11 gekapselt. Innerhalb der Abdeckhülse 12 des Endoskops verlaufen eine Scanhülse 13, die Strahlführungskanäle 14 für die Laserlichtbündel, die Kupplungen 15 für die Erzeugung der Scan-

bewegungen der Strahlführungseinrichtungen am Kopf 9 sowie der Optikzylinder 16.

[0041] Um eine einfachere Bauform zu erreichen, sind die als Scanspiegel ausgebildeten Strahlführungseinrichtungen 3a, 3b mit der Scanhülse 13 konstruktiv verbunden. Die Scanhülse 13 wird beim Zusammensetzen des Endoskops über den Optikzylinder 16 geschoben, wobei sie um die Hauptachse des Optikzylinders 16 drehbar gelagert ist.

[0042] Fig. 2 zeigt eine Prinzipskizze eines Abtastvorgangs, wie er mit der beispielhaften Vorrichtung realisiert wird. In der Figur sind die Mittellinien 17 des mit der Kamera 7 erfassten Videobilds angedeutet. Im Sichtfeld 18 der Kamera sind die beiden Lichtflecke 5a, 5b sowie eine Scanlinie 19 zu erkennen, auf der die beiden Lichtflecke 5a, 5b durch Verstellung der Scanspiegel geführt werden können. Mit einer geeigneten Anordnung der beiden Scanspiegel lässt sich erreichen, dass durch eine einfache Drehung der Scanspiegel um die Winkel α_1 bzw. α_2 eine Verschiebung der jeweiligen Lichtflecke 5a, 5b auf einer gemeinsamen Scanlinie 19 erfolgt. Die Verschiebung der Lichtflecke auf der Scanlinie 19 ist daher eine Funktion $f(\alpha_1)$, $f(\alpha_2)$ der Drehung der jeweiligen Scanspiegel. Durch die besondere Anordnung der Scanspiegel auf einer drehbaren Scanhülse 13 kann die Scanlinie durch Rotation der Scanhülse 13 um den Optikzylinder 16 (Drehwinkel β) gedreht werden, um dadurch einen sternförmigen Linienscan zu realisieren. Die Drehung der Scanlinie 19 um das Drehzentrum 21 ist in der Figur mit einem Pfeil angedeutet. Durch sukzessive Drehung der Scanhülse 13 und Vermessen der jeweiligen Scanlinien kann somit die gesamte durch die Kamera 7 erfasste Fläche vermessen werden.

[0043] Mit der vorliegenden Konstruktion, bei der durch eine einfache Drehung der Scanspiegel um Drehwinkel α_1 bzw. α_2 beide Laserflecke 5a, 5b jeweils auf einer gemeinsamen Scanlinie bewegt werden, wird ein einfacher Aufbau der Vorrichtung ermöglicht. Die Scanspiegel werden dabei durch eine fest mit der Führungs- bzw. Scanhülse 13 verbundenen Strahlumlenkung 20 so angeleuchtet, dass sie das gesamte Sichtfeld des Videobildes ausleuchten können. Die Einstellung der Scanlinie erfolgt durch Rotation der Scanhülse 13 um den Optikzylinder 16. Dadurch vereinfacht sich die Konstruktion der Komponenten an der Endoskopspitze. Außerdem kann bei der Auswertung des Videobilds hinsichtlich der Überdeckung von zwei weiteren geometrischen Randbedingungen, nämlich der Linearität und der Ausrichtung auf ein Zentrum, ausgegangen werden. Dies erhöht die Zuverlässigkeit und ermöglicht eine höhere Abtastgeschwindigkeit.

[0044] Die Drehung der Spiegel 3a, 3b und der Führungshülse 13 erfolgt durch Antriebe an der vom Situs abgewandten Seite des Endoskops (Fußseite 10). Die aktuelle Stellung der Antriebe einschließlich der Kalibrierungswerte für den Gesamtaufbau stehen als Angaben für die Entfernungsmessung zur Verfügung. Die Ablaufkontrolle und Berechnungen erfolgen über ein zusätzliches Rechnermodul, das getrennt von der Vorrichtung vorgesehen werden kann. Über die Führungshülse 13 ist eine weitere Abdeckhülse 12 mit einer Glaskuppel bzw. Glasabdeckung 11 an der Spitze geschoben, mit der das Gesamtsystem steril abgedichtet werden kann.

[0045] Die dargestellte Vorrichtung kommt mit wenig beweglichen Bauteilen aus, wobei eine einfache Kinematik eingesetzt wird, um den Fertigungsaufwand zu senken und die Präzision zu steigern. Die Vorrichtung ermöglicht insbesondere die Online-Vermessung des Volumens vor dem Endoskop. Die Messung kann kontinuierlich während des chirurgischen Eingriffs durchgeführt werden, so dass eine aktuelle Datenbasis zur Verfügung steht. Die Vorrichtung er-

möglicht eine hohe Präzision der Messung auch unter den besonderen medizinischen Bedingungen, den unterschiedlichen Grenzschichten, Oberflächen und geringen Messabständen. Sie ermöglicht eine genaue Vermessung des Volumens vor dem Endoskop in Echtzeit. Die Vorrichtung kann in Endoskopen mit einem Durchmesser zwischen 4 mm und 10 mm eingebaut werden, wodurch sie den medizinischen Anforderungen entsprechend eingesetzt werden kann. Diese Miniaturisierung wird durch das hier realisierte Messprinzip ermöglicht. Bisher stehen Scanner mit diesen Abmessungen nur in Form einzelner Ultraschallwandler zur Verfügung, die sich jedoch nicht für den Einsatz im Nahbereich eignen.

[0046] Die Antriebe der einzelnen Komponenten für das Endoskop müssen außerhalb des Kopfes 9 liegen, um den Einsatz von Präzisionsantrieben bzw. Präzisionsbetrieben zu ermöglichen, und sind über geeignete Kupplungen 15 mit den Komponenten verbunden. Als Lichtquelle wird vorzugsweise ein Laser mit einer Wellenlänge im sichtbaren Bereich eingesetzt.

[0047] Fig. 4 zeigt die Kopfseite 9 des in Fig. 3 dargestellten Endoskops ohne die Abdeckhülse 12. In der Figur ist der Optikzylinder 16 zu erkennen, der innerhalb der Scanhülse 13 angeordnet ist. Die Scanhülse 13 ist um diesen Optikzylinder 16 drehbar gelagert. Aus dem vorderen Bereich der Scanhülse 13 ragen zwei Umlenkköpfe 20 heraus, über die die beiden aus den Strahlführungskanälen 14 austretenden Laserlichtbündel 4a, 4b auf die als Scanspiegel ausgestalteten Strahlführungseinrichtungen 3a, 3b gerichtet werden. Die Anordnungen für die Strahlführungseinrichtungen 3a, 3b sind jeweils identisch. Der Umlenkkopf 20 sitzt dabei fixiert auf dem Strahlführungskanal 14. Er lenkt den Laserstrahl auf den gegenüberliegenden Scanspiegel 3a bzw. 3b, der mechanisch über eine Kupplung 15 vom Fuß des Endoskops aus um die Winkel α_1 bzw. α_2 drehbar ist. Durch diese Drehung wird das Abtasten der Scanlinie bei einer bekannten Strahlgeometrie möglich. Beide Scanspiegel 3a, 3b sind so ausgerichtet, dass sie den Strahl bei einer Drehung auf einer gemeinsamen Scanlinie verschieben, ohne dabei durch die Umlenkköpfe 20 oder den Optikzylinder 16 behindert zu werden. In diesem Beispiel liegt das Drehzentrum der Scanlinie auf der optischen Achse der Kamera, d. h. im Zentrum des Videobilds. Die Drehung der Scanhülse 13 entspricht daher dem Winkel β in der Fig. 2.

[0048] Selbstverständlich ist auch eine exzentrische Anordnung möglich, bei der beide Strahlführungseinrichtungen 3a, 3b auf einer Seite des Optikzylinders 16 liegen. Hierdurch wird kann beispielsweise eine fächerförmige Anordnung der Scanlinien ermöglicht werden.

[0049] Die an der Fußseite 10 des Endoskops angreifenden Verstellantriebe für die Scanhülse 13 und die Scanspiegel 3a, 3b sowie der Anschluss an die Videokamera (Videoadapter) sind in dieser Figur nicht gesondert dargestellt. Die Kupplungen 15 können hydraulisch oder mechanisch, beispielsweise über Zahnrad- oder Riemenantriebe realisiert werden. Als Videoadapter kann ein standardisierter Anschluss eingesetzt werden. Der Laserstrahl wird vorzugsweise über eine Faser bis zum Umlenkkopf 20 geleitet. Eventuell kann der Strahlführungskanal 14 zur Außenwand des Endoskoprohrs hin offen gestaltet werden, so dass sich die Faser bei der Montage einfacher einlegen lässt. Eine weitere Alternative zur Strahlführung bis zu den Strahlführungseinrichtungen 3a, 3b besteht darin, eingeschmolzene Glaskörper als Übertragungsmedium einzusetzen, für die dann zusätzliche Einkopplungselemente für die Laserstrahlung am Fuß des Endoskops installiert werden müssen.

[0050] Fig. 5 zeigt schließlich eine Prinzipskizze der konstruktiven Lösung am Fuß 10 des Endoskops, in der die Scanhülse 13 mit dem angedeuteten Drehwinkel β , die

Kupplungen 15 mit den angedeuteten Drehwinkeln α_1 bzw. α_2 sowie die Strahlführungskanäle 14 zu erkennen sind. Im Zentrum ist der Optikzylinder 16 angeordnet.

[0051] Die Laserquellen sind mit der Scanhülse 13 fest verbunden, so dass sie sich beim Einstellen der Scanlinie mit der Hülse mitdrehen. Auf diese Weise findet keine Dejustierung des Laserstrahls statt. Die Scanhülse dreht sich bei diesem Vorgang relativ zur fixierten, in der vorliegenden Figur nicht dargestellten, Abdeckhülse 12.

[0052] Mit einem erhöhten Aufwand können die Laserlichtbündel auch ohne zusätzliche Lichtwellenleiter direkt auf die Umlenkköpfe 20 ausgerichtet werden.

[0053] Selbst wenn in diesen Ausführungsbeispielen konkret auf die Anwendung in der medizinischen Endoskopie eingegangen wurde, so ist offensichtlich, dass das vorliegende Verfahren sowie die zugehörige Vorrichtung unabhängig von der hier dargestellten konstruktiven Umsetzung für den ausgewählten Einzelfall auch auf vielen anderen Gebieten eingesetzt werden und insbesondere technisch auch auf eine unterschiedliche Art realisiert werden kann. Weiterhin ist das Prinzip nicht auf den Einsatz von zwei Lichtbündeln beschränkt. Es können vielmehr auch mehr als zwei Lichtbündel eingesetzt werden, um beispielsweise zwei Messpunkte gleichzeitig zu erfassen.

BEZUGSZEICHENLISTE

1 Oberflächenkontur	
2 Objekt	
3a, 3b Strahlführungseinrichtungen	30
4a, 4b Lichtbündel	
5a, 5b Lichtflecke	
6 Messpunkt	
7 Kamera	
8 Kamerabild	35
9 Kopfbereich des Endoskops	
10 Fußbereich des Endoskops	
11 Transparente Abdeckung	
12 Abdeckhülse	
13 Führungshülse	40
14 Strahlführungskanäle	
15 Kupplungen	
16 Optikzylinder	
17 Mittellinien	
18 Sichtfeld	45
19 Scanlinie	
20 Umlenkköpfe	
21 Drehzentrum	

Patentansprüche

1. Verfahren zur Messung der Entfernung eines Objektes, bei dem
 zumindest zwei getrennte Lichtbündel (4a, 4b) von zwei Ausgangspunkten, die in einem Bezugssystem einen vorgegebenen Abstand zueinander aufweisen, auf das Objekt (2) gerichtet werden;
 die beiden Lichtbündel (4a, 4b) auf dem Objekt (2) in einem Messpunkt (6) zur Überdeckung gebracht werden;
 bei Überdeckung im Messpunkt (6) die Lage der beiden Lichtbündel (4a, 4b) im Bezugssystem erfasst wird; und
 aus der erfassten Lage der Lichtbündel (4a, 4b) und dem Abstand der beiden Ausgangspunkte die Entfernung des Messpunktes (6) auf dem Objekt (2) zu einem Bezugspunkt des Bezugssystems ermittelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

net, dass die Überdeckung der beiden Lichtbündel (4a, 4b) im Messpunkt (6) mit Hilfe eines Bilderfassungssystems, insbesondere einer Kamera (7), überwacht wird, die auf einen zu vermessenden Raumbereich gerichtet ist, in dem sich das Objekt (2) befindet.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein Bildverarbeitungssystem eingesetzt wird, das vom Bilderfassungssystem gelieferte Daten des zu vermessenden Raumbereiches auswertet und Scaneinrichtungen (3a, 3b) zur Führung der Lichtbündel (4a, 4b) ansteuert, um die beiden Lichtbündel (4a, 4b) in dem und gegebenenfalls weiteren Messpunkten (6) zur Überdeckung zu bringen.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Lichtbündel (4a, 4b) nacheinander in einer Vielzahl von Messpunkten (6) in einem zu vermessenden Raumbereich zur Überdeckung gebracht werden, um ein dreidimensionales Profil des zu vermessenden Raumbereiches zu erhalten.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der zu vermessende Raumbereich mit einem der beiden Lichtbündel (4a) abgetastet wird, wobei das andere Lichtbündel (4b) jeweils zur Herstellung der Überdeckung nachgeführt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Abtasten durch Führung der beiden Lichtbündel (4a, 4b) auf einer Vielzahl geradliniger Scanlinien (19) erfolgt, die unter einem spitzen Winkel zueinander verlaufen.

7. Vorrichtung zur Messung der Entfernung eines Objektes, mit
 einem Bilderfassungssystem, insbesondere einer Kamera (7), zur Bilderfassung eines zu vermessenden Raumbereiches, in dem das Objekt (2) angeordnet ist; zumindest zwei in festem Abstand zueinander angeordneten Strahlführungseinrichtungen (3a, 3b), die zur Ausführung einer Scanbewegung ausgebildet sind, so dass sie zwei Lichtbündel (4a, 4b) in einem Messpunkt (6) in dem zu vermessenden Raumbereich zur Überlagerung bringen können;
 einer Einrichtung zur Erfassung der Stellung der Strahlführungseinrichtungen (3a, 3b); und
 einer Steuereinrichtung, die die beiden Strahlführungseinrichtungen (3a, 3b) durch Auswertung der vom Bilderfassungssystem erfassten Daten zur Überlagerung der Lichtbündel (4a, 4b) im Messpunkt (6) ansteuert.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Strahlführungseinrichtungen (3a, 3b) auf einem gemeinsamen Träger (13) befestigt sind, der um eine Achse drehbar gelagert ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Strahlführungseinrichtungen (3a, 3b) zur Durchführung der Scanbewegung jeweils nur um eine Achse drehbar oder kippbar ausgestaltet und derart gegenseitig angeordnet sind, dass sie die Lichtbündel (4a, 4b) bei einer Scanbewegung in der gleichen Scanebene bewegen.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Bilderfassungssystem und die Strahlführungseinrichtungen (3a, 3b) am Kopf (9) eines Endoskops angeordnet sind.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlführungseinrichtungen (3a, 3b) auf einer Führungshülse (13) befestigt sind, die über einen Optikzylinder (16) des Endoskops geschoben und dort um die Hauptachse des Optikzylinders (16) dreh-

bar gelagert ist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass ein oder mehrere Lichtquellen zur Erzeugung der Lichtbündel (4a, 4b) sowie Verstellantriebe für die Strahlführungseinrichtungen (3a, 3b) 5 ausserhalb des Kopfes (9) des Endoskops angeordnet und über entsprechende Strahlführungs Kanäle (14) und Kupplungen (15) mit den Strahlführungseinrichtungen (3a, 3b) verbunden sind.

13. Vorrichtung nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Führungshülse (13) mit einem Antrieb für eine Drehung um die Hauptachse verbunden ist, wobei die ein oder mehreren Lichtquellen sowie die Verstellantriebe für die Strahlführungseinrichtungen (3a, 3b) bei Drehung der Führungshülse 15 (13) mitgedreht werden.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung zur Erfassung der Stellung der Strahlführungseinrichtungen (3a, 3b) die Stellung der Verstellantriebe für die Strahl- 20 führungseinrichtungen erfasst.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass als Lichtquelle zur Erzeugung der Lichtbündel (4a, 4b) ein oder mehrere Laser vorgesehen sind. 25

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass eine Auswerteeinrichtung vorgesehen ist, die aus dem festen Abstand der Strahlführungseinrichtungen (3a, 3b) und den bei Überlagerung der Lichtbündel (4a, 4b) erfassten Stellungen der Strahlführungseinrichtungen (3a, 3b) den Abstand des Messpunktes (6) ermittelt. 30

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlführungseinrichtungen (3a, 3b) Scannerspiegel aufweisen. 35

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass das Bilderfassungssystem zwischen den beiden Strahlführungseinrichtungen (3a, 3b) angeordnet ist. 40

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

45

50

55

60

65

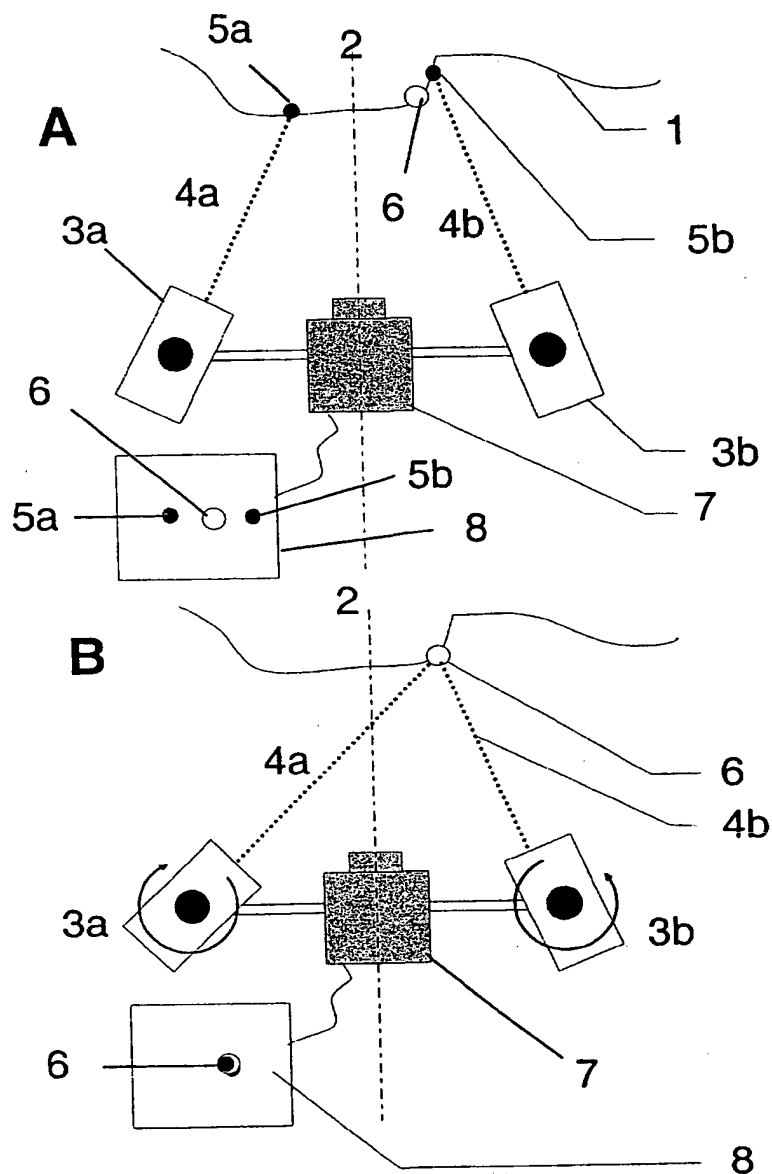


Fig. 1

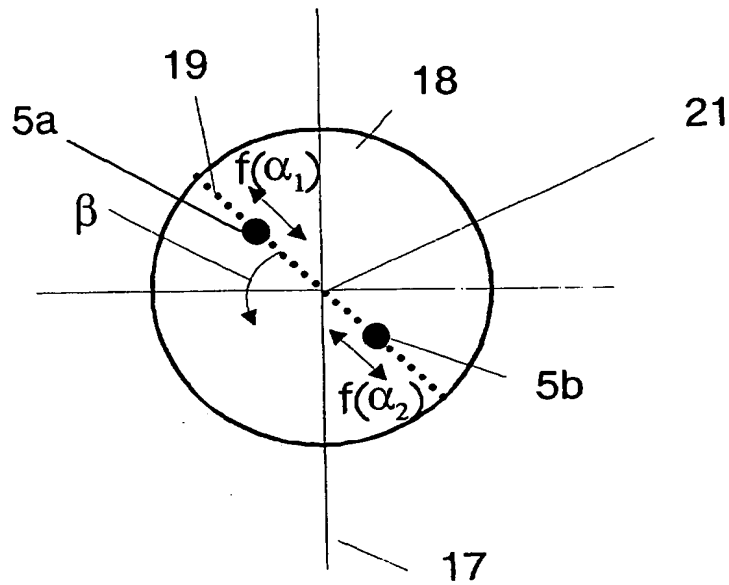


Fig. 2

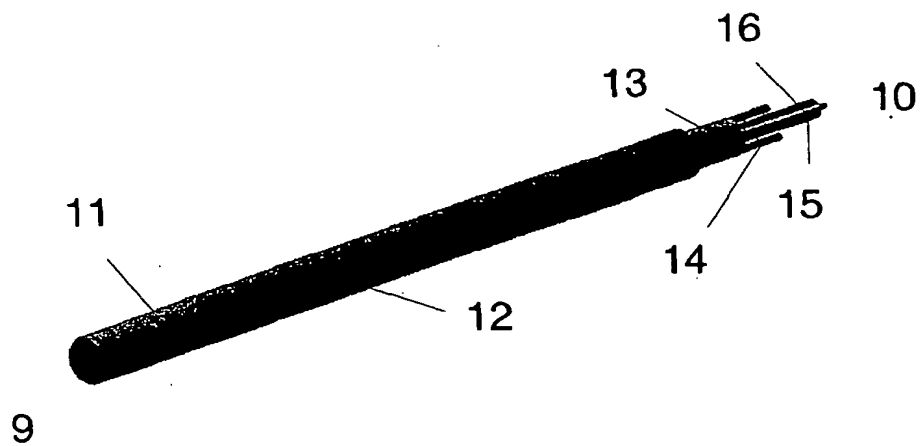


Fig. 3

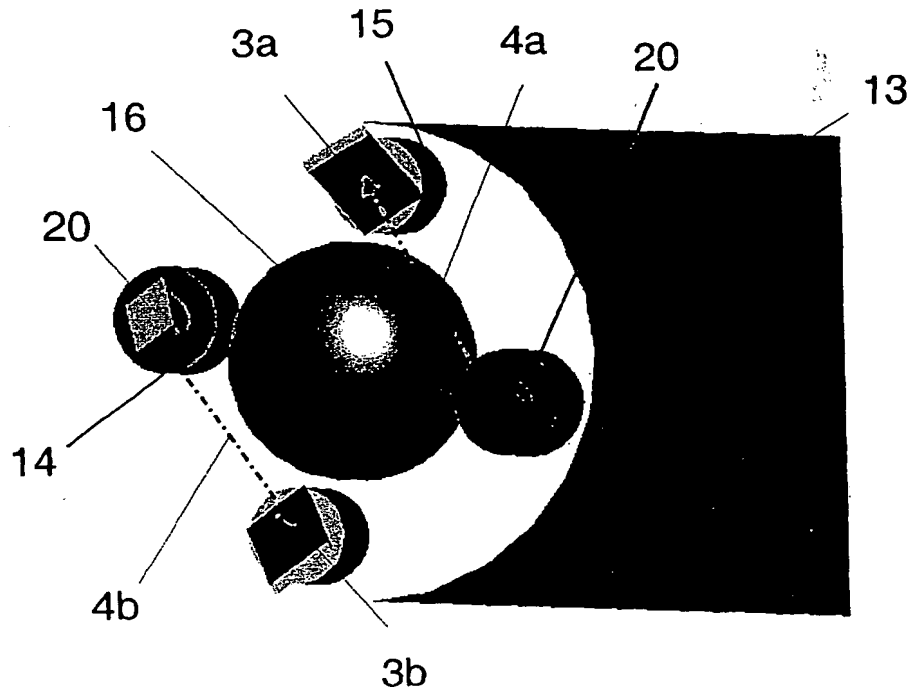


Fig. 4

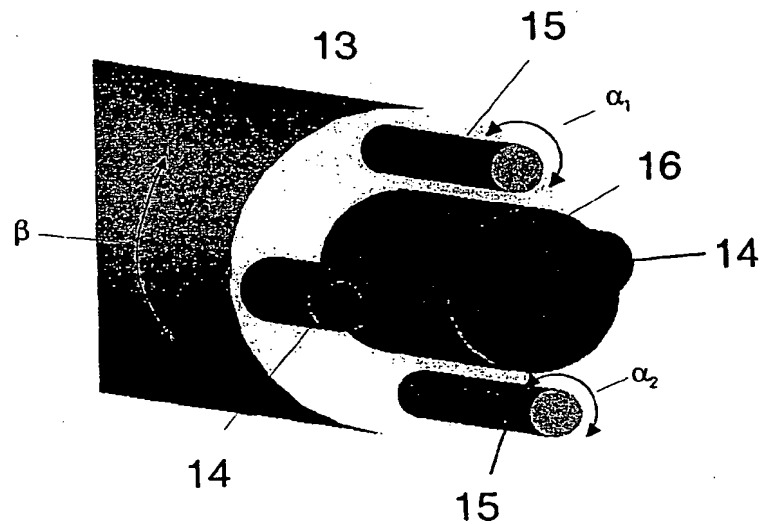


Fig. 5

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER: _____**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)